

DEM 网格尺寸对地形因子影响研究 ——以北京市延庆县八达岭小流域为例

沈晶玉, 史明昌

(北京林业大学资源与环境学院, 北京 100083)

摘要: DEM 包含了大量地形信息是地形分析的基本资料。众所周知 DEM 网格愈小, 愈能反映地貌起伏变化的细节, 对地形的描述愈准确, 但是随着 DEM 精度的增加, 数据量将以几何级数递增, 所需要的时间、人力以及占用的计算机容量都大大增加, 从某种意义上来说, 是对计算机资源的浪费。因此 DEM 网格尺寸对地形因子精度的影响以及选择适宜的网格尺寸在实际应用中就至关重要了。以北京市延庆县八达岭小流域为例, 不考虑 DEM 采样点上高程误差, 采用 1:10 000 大比例尺, 运用统计分析方法, 比较当 DEM 网格尺寸变化时, 对坡度、坡向、剖面曲率和平面曲率计算结果的误差, 分析网格尺寸的变化与坡度、坡向、剖面曲率和平面曲率计算结果之间定性定量关系。从精度和栅格数据量两个方面选择适宜网格尺寸范围为 5~10 cm。此研究对实际应用中 DEM 网格尺寸选择有一定指导意义。

关键词: DEM; 网格尺寸; 精度; 地形因子

中图分类号: TP79

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006)05-0066-04

Studies of the Influences from the Size of DEM Grids on Topographical Factors ——Take the Badaling Watershed of Yanqing Beijing as an Example

SHEN Jing-yu, SHI Ming-chang

(The College of Resource and Environment, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: DEM includes a large amount of topographical information, which made it the basic materials for topography analyzing. It is known to all that the smaller the size of grids, the more indicate it reflects the variety of terrain and the more accurate it describes the topography. However, with the increase of DEM precision, the data volume would increase simultaneous at a speed of geometric progression, meanwhile, the time spending, manpower and capacity of computer would also goes up greatly. In a sense, it is a waste of computer resource. Therefore, the influences from DEM grids size on the precision of topographical factors and choosing suitable grids size are of great importance in practical application. This experiment takes Badaling watershed in Yanqing Beijing as an example, based on 1:10 000 the large geographical scale, adopting statistical analytical methods, the authors compared the errors of the slope, aspect, average cross section curvatures and average surface coarsens curvatures while the DEM grids varies. Besides, the authors analyzed the qualitative relation between variety of grids size and the slope, aspect, average cross section curvatures and average surface coarsens curvatures with the results of calculation. Taking accuracy and data volume into account, a suitable grids size: 5~10 cm was chosen. It has directive significance to the choosing of DEM grids size in practical application.

Key words: DEM; grid size; accuracy; topographical factors

数字高程模型 (DEM) 是用数字形式 X 、 Y 、 Z 坐标来表达区域内的地貌形态, 是在某一投影平面 (如高斯投影平面) 上规则格网点的平面坐标 (X 、 Y) 及高程 (Z) 的数据集, 以缩微的形式真实地再现了地表形态的起伏变化^[1]。随着计算机技术在水土保持工作中广泛应用, 特别是 DEM 已成为水土保持信息的基本骨架, 它能在计算机处理中构造出地形因子等许多重要信息, 模拟地貌形态。由 DEM 图可以生成坡度图、坡向图等专业图。坡度分级图是流域最基本、用途最广的图种之一。土地侵蚀类型图、土地类型图等图种的编制以及土地资源评价和水土保持措施配置, 都需要坡度分级图作基础。因此, 编制高质量的坡度图坡向图有极其重要的意

义。而作为基础资料的 DEM 在小流域监测和综合治理研究中是至关重要的。

1 试验地简介

北京市延庆县八达岭小流域位于延庆县城南部 15 km, 经纬度地理坐标东经 115°44'~116°34', 北纬 40°16'~40°47', 面积 25.88 km²。该地区山地地势较低, 属低山区, 岩性以花岗岩类为主, 山势缓和, 谷地较宽, 平均海拔 638 m。

2 研究方法

2.1 研究总体思路

本文采用北京市延庆县八达岭小流域 1:10 000 地形

* 收稿日期: 2005-09-29

基金项目: 北京林业大学振兴计划人才培养专项课题之空间采样与 DEM 精度研究

作者简介: 沈晶玉 (1982-), 女, 在读研究生, 北京林业大学资源与环境学院地图学与地理信息系统专业; 责任作者: 史明昌 (1969-), 男, 北京林业大学资源与环境学院地理信息系统方向副教授, 硕士。

图,对其进行扫描、提取等高线(等高距均为 10 m)并赋高程值,以 DEM 为基础,导出坡度图。采用 7 级坡度分级法(0~3°,3°~5°,5°~8°,8°~15°,15°~25°,25°~35°,>35°)计算不同坡度范围的面积,比较不同网格尺寸下,坡度面积百分比变化,绘制不同网格尺寸与 7 种坡度精度的关系曲线,分析网格尺寸对不同坡度存在的影响。再以 DEM 为基础,导出坡向图。将方向分成 8 个方向,即北方(337.5~360°,0~22.5°),东北方(22.5~67.5°),东方(67.5~112.5°),东南方(112.5~157.5°),南方(157.5~202.5°),西南方(202.5~247.5°),西方(247.5~292.5°),西北方(292.5~337.5°)。计算不同坡向面积,比较不同网格尺寸下,坡向面积百分比变化,绘制不同网格尺寸与不同坡向面积百分比变化关系曲线。运用统计分析方法(SPSS 软件,EXCEL 数据分析功能)分析网格尺寸变化与坡度、坡向、剖面曲率和平面曲率之间定量定性的关系。进而以此为例,探讨水土保持领域 DEM 适宜的网格尺寸,进一步在生产实践中指导 DEM 网格尺寸的选择。

具体的实验操作流程如图 1:

2.2 计算分析

2.2.1 DEM 高程值计算

如图 2(A)所示,1,2,3,4,5,6,7,8 分别表示所求网格附近八个网格的高程值,D 表示网格尺寸,A 为所求网格高程值。当网格尺寸为 D 时,A 用 1,2,3,4,5,6,7,8 处高程值表示: $H_A = 1/8(H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + H_5 + H_6 + H_7 + H_8)$ 。

如图 2(B)所示,变化网格尺寸,如:每个网格尺寸为 1/2D。1,2,3,4,5,6,7,8 分别表示所求网格附近八个网格的高程值。A 为所求网格的高程值。当网格尺寸为 1/2d 时,A 用 1',2',3',4',5',6',7',8' 处高程值表示。 $H_A = 1/8(H_{1'} + H_{2'} + H_{3'} + H_{4'} + H_{5'} + H_{6'} + H_{7'} + H_{8'})$ 。

变化网格尺寸之后,同一点高程值会有误差。此误差影响到坡度和坡向的计算结果。

2.2.2 坡度计算方法

坡度定义为水平面与局部地表之间的正切值。地表单

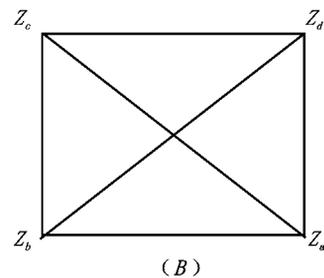
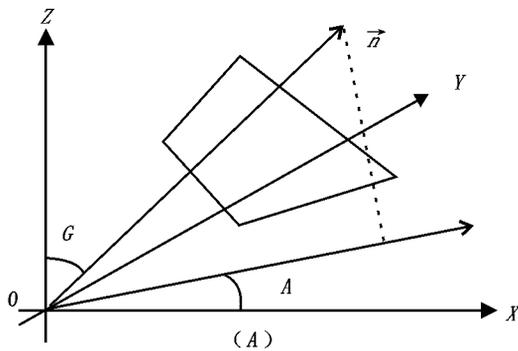


图 3 坡度、坡向计算示意图

对于格网 DEM,如图 3(B),若 Z_a, Z_b, Z_c, Z_d 是一个格网上的四个格网点的高程, ds 为格网的边长,则格网的坡度可由下式计算:

$$G = \arctg \sqrt{u^2 + v^2} \quad (2)$$

$$u = \frac{\sqrt{2}(Z_a - Z_b)}{2 ds} \quad (3)$$

$$v = \frac{\sqrt{2}(Z_c - Z_d)}{2 ds} \quad (4)$$

2.2.3 坡向计算方法

坡向是地表单元的法向量在 OXY 平面上的投影与 X 轴之间的夹角,如图 3(A)。坡向通常要换算成正北方向起算的角度。其计算公式为:

$$\text{tg} A = \frac{Z_c - Z_d}{Z_a - Z_b} \quad (- < A <) \quad (5)$$

元的坡度就是其切平面的法线方向 \vec{n} 与 Z 轴的夹角,如图 3(A)所示。坡度 G 的计算公式为:

$$\text{tg} G = \sqrt{(Z_c - Z_d)^2 + (Z_a - Z_b)^2} \quad (1)$$

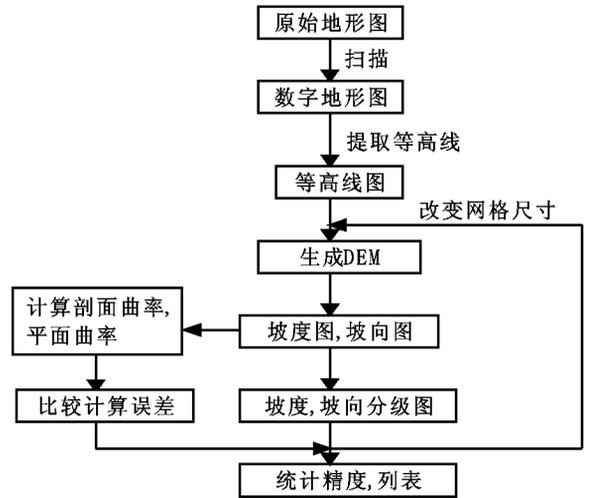


图 1 实验操作流程

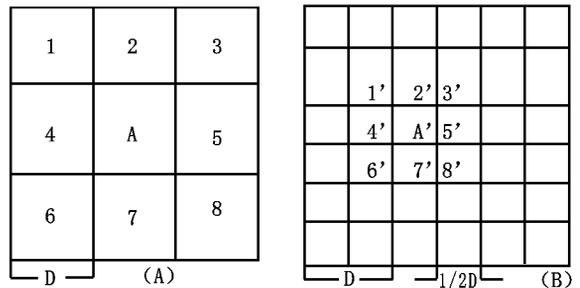


图 2 八方向算法示意图

对于格网 DEM,如图 3(B),则坡向的计算公式为:

$$A = \arctg \left(- \frac{V}{U} \right) \quad (6)$$

其中

$$u = \frac{\sqrt{2}(Z_a - Z_b)}{2 ds} \quad (7)$$

$$v = \frac{\sqrt{2}(Z_c - Z_d)}{2 ds} \quad (8)$$

3 结果与分析

3.1 不同网格尺寸对坡度影响

坡度是一个重要的地形分析因子,许多地形分析中都会涉及到它。譬如:分析地表表面积,计算剖面曲率,分析沟壑数量,进行汇水量分析等^[2]。坡度作为专业分析的基础或参考因子,

它的准确性直接影响到分析结果在应用中的可行性和可信度。

根据上述方法,将八达岭小流域坡度图进行数据处理和分析,计算结果见表 1。

由表 1、图 4 可知,当 DEM 网格增大时,对坡度 0~3° (Max - Min:11.16%) 的地区影响最大,对坡度 3~5° (Max - Min:1.96%) 地区影响最小。随着网格尺寸增大,坡度 0~3°, 坡度 >35° 的地区所占面积比例呈现下降趋势。这是由于随着 DEM 网格尺寸的增大,对地形描述越来越粗糙,使地表一些微小的地形起伏被忽略或被放大,因此减少两极所占比例。随着网格尺寸增大,坡度 3~5°, 坡度 5~8° 的地区所占面积比例变化不大。由于 DEM 网格尺寸增大所引起坡度计算的误差对坡度较小,平缓地区影响较小。因此,DEM 网格尺寸的变化主要影响地貌起伏变化剧烈、地形破碎地区坡度计算。当 DEM 网格尺寸增大时,平均坡度的变化见图 5。

表 1 不同网格尺寸坡度分级占总面积比例表 %

网格尺寸	0~3°	3~5°	5~8°	8~15°	15~25°	25~35°	>35°
D=1 m	34.63	8.60	8.42	11.28	9.71	7.91	19.45
D=5 m	31.81	7.89	7.70	10.96	10.83	11.54	19.27
D=10 m	29.28	7.17	7.09	10.54	16.95	14.92	14.06
D=15 m	27.23	6.90	6.74	13.42	19.49	14.22	11.99
D=20 m	25.95	6.64	7.80	19.06	16.33	12.64	11.59
D=25 m	24.58	6.86	8.85	18.66	18.85	11.64	10.56
D=30 m	23.47	8.00	10.27	19.17	18.26	10.84	9.99
Max - Min	11.16	1.96	3.53	8.63	9.78	7.01	9.46

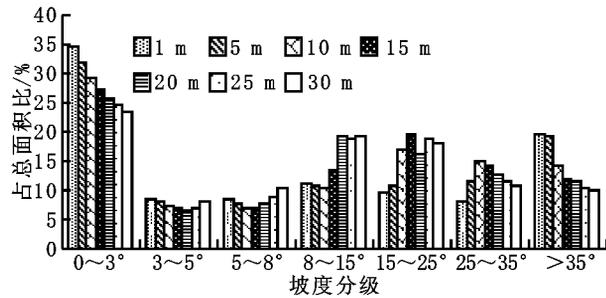


图 4 不同网格尺寸坡度分级分布图

由图 5 可知,当网格尺寸从 D=1 m 到 D=10 m 变化时,随着网格尺寸的增加,平均坡度增加;当网格尺寸从 D=10 m 到 D=20 m 变化时,随着网格尺寸的增加,平均坡度变化不大,当网格尺寸从 D=20 m 到 D=30 m 变化时,随着网格尺寸的增加,平均坡度减小。网格尺寸 D=10 m、D=20

m 为曲线拐点。由表 1 当 D<10 m 时,网格尺寸的增加,使坡度 0~3°,3~5°,5~8°,8~15° 和坡度 >35° 的地区所占的比例下降;坡度 15~25°,25~35° 的地区所占的比例上升。说明由于 DEM 网格的增加,一些微小的地形信息丢失,DEM 对地形的模拟愈来愈粗糙,所反映的地形地貌简化。当 D=10 m~20 m 时,平均坡度维持在一定水平上,受网格尺寸的影响小。在这个阶段虽然 DEM 网格尺寸增加,仍然能保留该地区主要的特征和地形信息,但此时 DEM 对地形的描述已经很简单了。因此平均坡度变化稳定。当 D>20 m 时,随着网格尺寸增加平均坡度减少。说明该地区主要地形信息也随 DEM 网格尺寸增大而丢失。因此对于这个地区适宜的网格尺寸为 D<10 m。

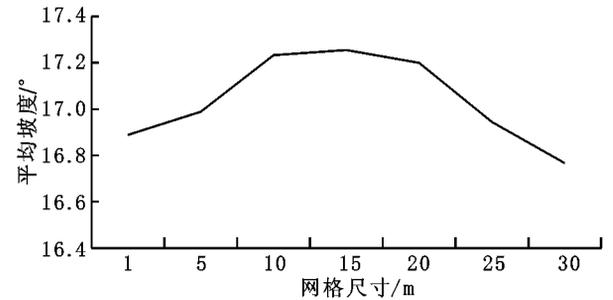


图 5 平均坡度变化曲线

3.2 不同网格尺寸对坡向影响

坡向是指斜坡的朝向,是另一个重要的地形因素。坡向不同,坡面所接受的太阳辐射不同会影响到湿度、温度条件、坡面植被生长状况、地面组成物质的风化速率、风化类型以及降雨时所遇到的风向等不同情况,所以不同坡度侵蚀过程表现出明显的差异,是水土保持中重要的分析因子^[3]。

根据上述方法,将八达岭小流域坡向图进行数据处理和分析,计算结果见表 2。

由表 2、图 6 可知,随着网格尺寸的变化,对坡向影响不大。各类坡向面积百分比变化,可能由于 DEM 网格尺寸增大时计算坡向结果造成。坡向是指切平面上沿最大倾斜方向的某个矢量在水平面上的投影方向^[1],DEM 网格尺寸增大会对地形描述简化,这对坡度有重要的影响,但对坡向影响不大。

3.3 网格尺寸与剖面曲率平均值关系

剖面曲率即求坡度的导数^[2]。它是反映地形复杂程度的因子。本实验在求坡度的基础上再计算一次坡度作为剖面曲率值,统计出整个区域的平均剖面曲率。试验数据见图 7。

表 2 不同网格尺寸坡向分级占总面积比例表 %

网格尺寸	北方	东北方	东方	东南方	南方	西南方	西方	西北方	阳坡	阴坡
D=1 m	17.47	12.71 %	7.68	6.23	5.75	11.95	17.51	20.71	31.60	68.40
D=5 m	17.45	12.92	7.42	6.28	5.73	12.19	16.99	21.02	31.62	68.38
D=10 m	17.31	13.09	7.11	6.29	5.83	12.43	16.48	21.45	31.66	68.34
D=15 m	17.13	13.20	7.01	6.15	5.73	12.60	16.18	22.00	31.49	68.51
D=20 m	17.03	13.39	6.82	5.90	5.55	12.88	16.06	22.37	31.15	68.85
D=25 m	16.95	13.30	6.65	5.78	5.19	13.27	16.03	22.82	30.90	69.10
D=30 m	16.52	13.71	6.81	5.47	4.94	13.14	16.09	23.33	30.36	69.64
Max - Min	0.95	1.00	1.03	0.82	0.89	1.19	1.48	2.62	1.30	1.30

由图 7 可知:随着网格尺寸的增大,平均剖面曲率减小。即随着网格尺寸的增大,DEM 对地形复杂程度的描述愈来愈粗糙。在 D=10 m 之前,随着网格尺寸的增大,平均剖面曲率迅速减小,在 D=10 m 之后,随着网格尺寸的增大,平均剖面曲率变化缓慢。D=10 m 是曲线拐点。当 DEM 网格尺寸 <10 m 时,由于增加网格大小所造成的地形信息的遗缺情况严重,数据损失率大。当 DEM 网格尺寸 >10 m 时,由于增加网格大小所造成的地形信息的遗缺维持在一定水平线上,数据损失率小。由图 7 的趋势曲线可知,网格尺寸与平均剖面曲率之间存在很好的相关性。比较线性,指

数,幂函数模型拟合后,发现幂函数相关性最高。说明当网格尺寸增加时,地形复杂信息呈幂函数减少。

3.4 网格尺寸与平面曲率平均值关系

平面曲率是对坡向求导数,反映了地面的转折信息^[2]。本实验在求坡向的基础上再计算一次坡度作为平面曲率值,统计出整个区域的平均平面曲率。试验数据见图 8。

由图 8 可知:随着网格尺寸的增大,平均平面曲率减小。即随着网格尺寸的增加,DEM 对地面复杂程度的描述愈来愈简单。由图 8 的趋势曲线可知,网格尺寸与平均平面曲率之间存在很好的相关性。比较线性,指数,幂函数模型拟合

后,发现线性相关性最高。说明当网格尺寸增加时,对地面信息的概括性呈线性增加。

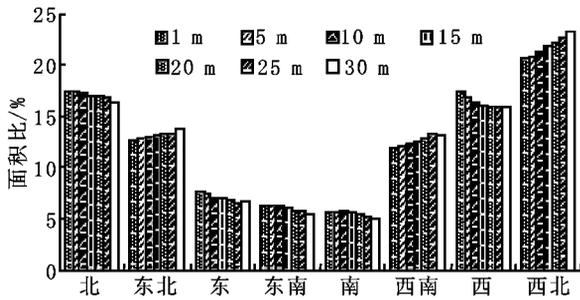


图 6 不同网格尺寸坡向分级分布图

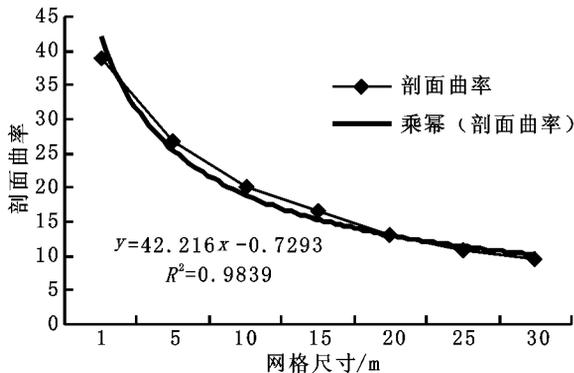


图 7 不同网格尺寸平均剖面曲率分布图

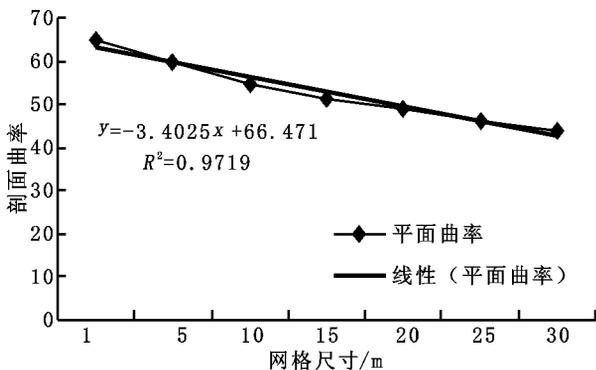


图 8 不同网格尺寸平均剖面曲率分布图

3.5 网格尺寸与信息量关系

DEM 网格愈小,愈能反映地貌起伏变化的细节,对地形的描述愈准确,但是随着 DEM 精度的增加,数据量将以几何级数递增,所需要的时间、人力以及占用的计算机容量都大大增加,从某种意义上来说,是对计算机资源的浪费。以八达岭小流域为例,当网格尺寸 $D=1\text{ m}$ 时,栅格数量为 D

$=5\text{ m}$ 时 25 倍, $D=10\text{ m}$ 时 100 倍。如此大的数据量对计算机资源消耗大,使运算效率降低。因此在实践中不需要把网格划分得愈细愈好,而是应该选择一个适宜的网格尺寸。

从精度考虑,当 $D>10\text{ m}$ 以后,对地形描述误差较大,因此针对这一地区选择 DEM 网格尺寸应选择 $D=10\text{ m}$ 。

从数据量考虑: $D=5\text{ m}$ 栅格数量为 1 640 477 个, $D=10\text{ m}$ 栅格数量为 409 479 个,因此适宜的网格尺寸在 $D=5\text{ m}\sim D=10\text{ cm}$ 。

4 结论与建议

本实验不考虑 DEM 采样点上高程误差,以北京市延庆县八达岭小流域为试验地,运用统计分析方法,比较当 DEM 网格尺寸变化时,坡度,坡向,剖面曲率和平面曲率计算结果,分析网格尺寸变化与坡度,坡向,剖面曲率和平面曲率之间定量性的关系。

(1)对于不同坡度地区,网格尺寸的变化对坡度为 $0\sim 3^\circ$ 地区影响最大。原因在于随着 DEM 网格尺寸增大,细小地形起伏被舍去。对于不同网格尺寸 DEM 求平均坡度可知,当 $D<10\text{ m}$ 时,由于 DEM 网格的增加,一些微小的地形信息丢失,DEM 对地形的模拟愈来愈粗糙,所反映的地形地貌简化。当 $D=10\text{ m}\sim 20\text{ m}$ 时,平均坡度维持在一定水平上,受网格尺寸的影响小。在这个阶段虽然 DEM 网格尺寸增大,仍然能保留该地区主要的特征和地形信息,但此时 DEM 对地形的描述已经很简单了。当 $D>20\text{ m}$ 时,随着网格尺寸增大平均坡度减少。说明该地区主要地形信息也随 DEM 网格尺寸增大而丢失。因此对于这个地区适宜的网格尺寸为 $D<10\text{ m}$ 。

(2)随着网格尺寸的变化,对坡向影响不大。

(3)随着网格尺寸的增大,平均剖面曲率减小。平均剖面曲率曲线以 $D=10\text{ m}$ 为曲线拐点。当 DEM 网格尺寸 $<10\text{ m}$ 时,由于增加网格大小所造成的地形信息的遗缺情况严重,数据损失率大。当 DEM 网格尺寸 $>10\text{ m}$ 时,由于增加网格大小所造成的地形信息的遗缺维持在一定水平线上,数据损失率小。并且网格尺寸与平均剖面曲率之间存在很好的相关性且幂函数相关性最高。说明当网格尺寸增加时,地形复杂信息呈幂函数减少。

(4)随着网格尺寸的增大,平均平面曲率减小。网格尺寸与平均平面曲率之间存在很好的相关性且线性相关性最高。说明当网格尺寸增加时,对地面信息的概括性呈线性增加。

综上所述,通过对北京市延庆县八达岭小流域坡度、坡向、剖面曲率和平面曲率这四个地形因子以及对数据量进行分析,得出适宜的网格尺寸在 $D=5\text{ m}\sim 10\text{ cm}$ 。

由于只采用大比例尺,针对一个小流域的地形因子进行计算,比较和分析,具有一定片面性,仍需要在多个小流域中加以对比分析。但在探讨水土保持领域 DEM 适宜的网格尺寸,进一步在生产实践中指导 DEM 网格尺寸的选择,仍有参考价值。

参考文献:

[1] 李志林,朱庆. 数字高程模型[M]. 武昌:武汉大学出版社,2001.

[2] 陈楠,汤国安,刘咏梅,等. 基于不同比例尺的 DEM 地形信息比较[J]. 西北大学学报(自然科学版),2003,3(2):237-240.

[3] 朱清科,朱金兆. 黄土区退耕还林可持续经营技术[M]. 北京:中国林业出版社,2003.

[4] Florinsky I V. Accuracy of local topographic variables derived from digital elevation model[J]. International Journal of Geographical Information Science,1998,12(1):47-61.

[5] Gao J. Resolution and accuracy of terrain representation by grid DEM satamicroscale[J]. International Journal of Geographical Information Science,1997,11(2):199-212.

[6] 汤国安,龚健雅,陈正江,等. 数字高程模型地形描述精度量化模拟[J]. 研究测绘学报,2001,30(4):361-365

[7] 汤国安,赵牡丹,曹菡. DEM 地形描述误差空间结构分析[J]. 西北大学学报(自然科学版),2000,30(4):349-352.

[8] 周云轩,王磊. 基于 DEM 的 GIS 地形分析的实现方法研究[J]. 计算机应用研究,2002,(12):50-53.

[9] 唐新明,林宗坚,吴岚. 基于等高线和高程点建立 DEM 的精度评价方法探讨[J]. 遥感信息,1999,55(3):7-10.

[10] 朱红春,张友顺,汤国安,等. 基于 DEM 的黄土地貌类型提取与制图——以黄土高原丘陵沟壑实验样区为例[J]. 地球信息科学,2003,(4):110-113.